

# 地顶孢霉培养物对蛋鸡生产性能、蛋品质、抗氧化能力、免疫功能和肠道形态的影响

刘雅婷<sup>1</sup> 陈贵才<sup>2</sup> 张丽佳<sup>2</sup> 简华锋<sup>1</sup> 李燕<sup>1</sup> 牟天铭<sup>1</sup> 董信阳<sup>1</sup> 邹晓庭<sup>1\*</sup>

(1. 浙江大学动物科学学院, 浙江省饲料与动物营养重点实验室, 杭州 310058;

2. 浙江汇能生物股份有限公司, 海宁 314422)

**摘要:** 本试验旨在研究地顶孢霉培养物(ATC)对蛋鸡生产性能、蛋品质、抗氧化能力、免疫功能和肠道形态的影响。选取健康且体重相近的70周龄伊莎褐蛋鸡960只,随机分为5个组,每组6个重复,每个重复32只。对照组饲喂基础饲料,试验组饲喂在基础饲料中分别添加0.05%、0.10%、0.15%和0.20%ATC的饲料。预试期1周,正试期9周。结果表明:1)与对照组相比,饲料添加0.10%、0.15%和0.20%的ATC显著提高了平均日产蛋重( $P<0.05$ ),饲料添加0.15%和0.20%的ATC显著降低了料蛋比( $P<0.05$ )。2)与对照组相比,饲料添加不同水平的ATC均显著提高了平均蛋重( $P<0.05$ ),饲料添加0.05%的ATC显著提高了蛋白高度和哈氏单位( $P<0.05$ )。3)与对照组相比,饲料添加0.05%、0.10%和0.20%的ATC显著降低了血清尿素氮(UN)含量( $P<0.05$ )。4)与对照组相比,饲料添加0.15%的ATC显著提高了血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性( $P<0.05$ ),饲料添加0.05%、0.10%和0.20%的ATC显著降低了血清丙二醛(MDA)含量( $P<0.05$ );各ATC添加组血清过氧化氢酶(CAT)活性均显著提高( $P<0.05$ )。5)与对照组相比,饲料添加0.20%的ATC显著提高了血清免疫球蛋白G(IgG)含量( $P<0.05$ ),饲料添加0.15%和0.20%的ATC显著提高了血清免疫球蛋白M(IgM)含量( $P<0.05$ )。6)与对照组相比,在空肠中,饲料添加0.20%的ATC显著提高了绒毛高度( $P<0.05$ );各ATC添加组隐窝深度均显著降低( $P<0.05$ ),绒隐比(绒毛高度/隐窝深度)均显著提高( $P<0.05$ )。与对照组相比,在回肠中,各ATC添加组绒毛高度和绒隐比均显著提高( $P<0.05$ ),隐窝深度均显著降低( $P<0.05$ )。综上所述,饲料添加ATC可增强蛋鸡的免疫功能和抗氧化能力,改善空肠和回肠形态结构,进而改善蛋品质,降低料蛋比,且以添加0.20%的ATC效果较佳。

**关键词:** 地顶孢霉培养物;蛋鸡;生产性能;抗氧化能力;免疫功能;肠道形态

中图分类号:S816.7

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2023)04-2286-10

长期以来,抗生素一直被认为是提高畜禽生产性能和预防疾病的最佳选择,但由此带来的耐药性和畜产品抗生素残留等问题日益严重。随着家禽养殖业的规模化发展,由此导致饲养密度增加,疫病防控难度加大,亟需寻找能够提高动物生产性能和免疫功能的抗生素替代品<sup>[1]</sup>。

古尼虫草是我国稀有的虫草类药材,可分解产生虫草酸、虫草素和虫草多糖等多种重要的次级代谢产物<sup>[2]</sup>,发挥免疫调节、抗肿瘤和抗氧化等药理功效<sup>[3]</sup>,但其严苛的生长环境以及昂贵的价格限制了其在饲料生产中的应用。地顶孢霉培养物(*Acremonium terricola* culture, ATC)是从古尼虫

收稿日期:2022-09-28

基金项目:浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目(2022C02073);海宁市协同创新示范项目(20210107)

作者简介:刘雅婷(1998—),女,重庆人,硕士研究生,从事蛋鸡营养研究。E-mail: 22017064@zju.edu.cn

\* 通信作者:邹晓庭,教授,博士生导师,E-mail: xtzou@zju.edu.cn

草中分离的地顶孢霉菌经人工发酵后得到的可以替代古尼虫草的人工培养物<sup>[4]</sup>,主要成分为虫草酸、虫草素、虫草多糖、腺苷、麦角甾醇和矿物质等,与冬虫夏草具有相似的药理作用,是一种新型的绿色饲料添加剂。近年来,关于 ATC 在畜禽养殖业的应用报道逐渐增多,先前在肉鸡、小鼠和奶牛上的研究表明,ATC 不仅能提高生长性能<sup>[5]</sup>、改善肉品质<sup>[6]</sup>和增强免疫力<sup>[7]</sup>,还可以通过调节丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路在脂多糖诱导的乳腺炎大鼠中发挥抗炎和抗氧化作用<sup>[8]</sup>。然而,ATC 作为饲料添加剂应用于蛋鸡生产中的效果及其作用机制的研究报道甚少。基于此,本研究通过在饲料中添加不同水平的 ATC,探究其对蛋鸡生产性能、蛋品质、抗氧化能力、免疫功能和肠道形态的影响,以期 ATC 在蛋鸡生产中的应用提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

本试验所用伊莎褐蛋鸡由浙江省建德市某养鸡场提供。试验所用 ATC 购自浙江某生物股份有限公司,水分含量 $\leq 10\%$ ,甾醇含量 $\geq 0.2\%$ ,主要功能性成分为虫草素(0.1%,以腺苷计)、虫草酸( $\geq 6.0\%$ )和虫草多糖( $\geq 3\%$ ),以粉剂的形式拌料添加。

### 1.2 试验设计

试验选取同一饲养条件下、体重接近的 70 周龄健康伊莎褐蛋鸡 960 只,随机分为 5 个组(基础产蛋率分别为 88.62%、88.28%、88.01%、88.53%和 88.02%),每组 6 个重复,每个重复 32 只。经统计学分析,预试期各组产蛋率无显著差异( $P > 0.05$ )。对照组饲喂玉米-豆粕型基础饲料,其为参照《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)配制的蛋鸡全价配合饲料,基础饲料组成及营养水平见表 1;试验组分别在基础饲料中添加 0.05%、0.10%、0.15%和 0.20%的 ATC。预试期 1 周,正试期 9 周。

### 1.3 饲养管理

试验鸡采用 3 层阶梯式笼养,鸡舍采用自然通风结合纵向负压通风,自然光照+人工照明,光照制度为 16 h(亮):8 h(暗)。试验期间每天喂料 2 次(07:00 和 14:00),自由采食,充足饮水,其余饲养管理和免疫程序按照原养殖场进行,定期对

鸡舍进行消毒。每日观察试验鸡的精神状态、行为表现和粪便状况,各组其他试验条件在试验期间均保持一致。

表 1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the

| basal diet (DM basis)              |            | % |
|------------------------------------|------------|---|
| 项目 Items                           | 含量 Content |   |
| 原料 Ingredients                     |            |   |
| 玉米 Corn                            | 61.00      |   |
| 豆粕 Soybean meal                    | 26.00      |   |
| 大豆油 Soybean oil                    | 1.00       |   |
| 石粉 Limestone                       | 9.00       |   |
| 预混料 Premix <sup>1)</sup>           | 3.00       |   |
| 合计 Total                           | 100.00     |   |
| 营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup> |            |   |
| 代谢能 ME/(MJ/kg)                     | 11.07      |   |
| 粗蛋白质 CP                            | 16.98      |   |
| 钙 Ca                               | 3.77       |   |
| 总磷 TP                              | 0.44       |   |
| 赖氨酸 Lys                            | 0.74       |   |
| 蛋氨酸 Met                            | 0.27       |   |

1) 每千克预混料含有 One kg of the premix contained: VA 200 000 IU, VB<sub>2</sub> 130 mg, VB<sub>6</sub> 25 mg, VB<sub>12</sub> 0.02 mg, VE 370 IU, VK<sub>3</sub> 65 mg, 烟酸 nicotinic acid 800 mg, 氯化胆碱 choline chloride 4 000 mg, Cu 95 mg, Fe 1 000 mg, Mn 60 mg, Zn 1 000 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

### 1.4 样品采集

试验结束时,对试验蛋鸡禁食 12 h,期间自由供水,称重。随后每个组随机挑选健康且体重相近的试验鸡 8 只,颈静脉采血 8 mL 置于促凝管中,室温中放置 30 min 后 3 000×g 离心 10 min,收集离心后的血清样品,保存在-80 ℃条件下用于后续检测。试验鸡采血后屠宰,并收集十二指肠、空肠和回肠肠段,用 4%多聚甲醛固定,用于后续苏木精-伊红(HE)染色切片制作。

### 1.5 检测指标及方法

#### 1.5.1 生产性能的测定

饲养试验期间,以重复为单位,记录试验鸡每天产蛋个数、蛋重、破损蛋数和死淘鸡数,计算产蛋率、平均日产蛋重、破损率和死淘率;记录喂料量和剩料量,根据每天的饲料消耗量计算试验鸡平均日采食量(ADFI),根据平均蛋重和平均日采

食量计算料蛋比。

### 1.5.2 蛋品质的测定

正试期结束时,在各个组随机选取 30 枚鸡蛋,每个重复 5 枚,测定蛋品质。使用高精度数码测蛋仪(DET-6000, NABEL, Kyoto, 日本)测定平均蛋重、蛋壳强度、蛋白高度、哈氏单位和蛋黄颜色。蛋壳剥去蛋壳膜,用螺旋测微仪分别测定蛋壳尖端、赤道和钝端 3 个位置的厚度,并取平均值作为蛋壳厚度。

### 1.5.3 血清生化指标的测定

采用分光光度计和酶标仪测定血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、总胆汁酸(TBA)、尿素氮(UN)含量以及谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、碱性磷酸酶(AKP)、髓过氧化酶(MPO)活性,试剂盒均购于南京建成生物工程研究所,具体试验操作按说明书进行。

### 1.5.4 血清抗氧化指标的测定

测定血清抗氧化指标,包括总抗氧化能力(T-AOC)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性以及丙二醛(MDA)含量。试剂盒均购于南京建成生物工程研究所,严格按照试剂盒说明书进行操作。

### 1.5.5 血清免疫指标的测定

采用酶联免疫吸附试验(ELISA)法测定血清中免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 G(IgG)和免疫球蛋白 M(IgM)含量,试剂盒均购于江苏酶免实业有限公司,严格按照相关试剂盒说明书操作。

### 1.5.6 小肠形态的观察与测定

取十二指肠、空肠和回肠组织中段相同位置约 1.5 cm,用磷酸盐缓冲液清洗干净,置于 4% 多聚甲醛固定 24 h,用流动水冲洗 24 h。经一系列梯度酒精脱水、二甲苯透明和石蜡包埋等处理后,用自动旋转切片機(Leica UC7, 德国)制作成 5  $\mu\text{m}$  的石蜡切片,常规 HE 染色并用中性树胶固定。最后,使用光学显微镜(Nikon Eclipse 80i, Nikon, 日本)观察肠道组织病理学变化,每个切片随机选取 6 组非连续性视野,每个视野统计 4 组数据,应用 Image-Pro Plus 6.0 软件测量绒毛高度(VH)、隐窝深度(CD),并计算绒隐比(绒毛高度/隐窝深度, V/C),整体平均值为最终测定结果。

## 1.6 数据统计分析

试验数据经 Excel 2016 初步整理后,采用 SPSS 25.0 统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并用 Duncan 氏法进行多重比较,结果用“平均值 $\pm$ 标准差”表示, $P<0.05$  为差异显著, $0.05\leq P<0.10$  为差异有显著趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 ATC 对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知,与对照组相比,饲料添加 0.10%、0.15% 和 0.20% 的 ATC 显著提高了平均日产蛋重( $P<0.05$ ),分别提高了 2.92%、2.73% 和 3.97%,且 0.20% ATC 添加组显著高于 0.05% ATC 添加组( $P<0.05$ )。0.15% 和 0.20% ATC 添加组料蛋比显著低于对照组( $P<0.05$ ),与对照组相比分别降低了 5.73% 和 3.65%。各组之间产蛋率、平均日采食量、破损率和死淘率虽无显著差异( $P>0.05$ ),但与对照组相比,0.15% 和 0.20% ATC 添加组产蛋率分别提高了 1.02% 和 1.46%,且饲料添加 ATC 有降低破损率的趋势( $P=0.068$ )。生产性能回归分析表明,蛋鸡饲料 ATC 适宜添加水平为 0.20% (产蛋率回归方程  $y=82.77-25.71x+164.86x^2$ ,  $R^2=0.62$ ; 平均日产蛋重回归方程  $y=64.30+11.64x$ ,  $R^2=0.90$ ; 破损率回归方程  $y=0.29-0.78x$ ,  $R^2=0.88$ ; 料蛋比回归方程  $y=1.91-0.46x$ ,  $R^2=0.71$ ; 死淘率回归方程  $y=1.03+25.55x-148.57x^2$ ,  $R^2=0.78$ )。

### 2.2 ATC 对蛋鸡蛋品质的影响

由表 3 可知,与对照组相比,饲料添加 0.05%、0.10%、0.15% 和 0.20% 的 ATC 均显著提高了平均蛋重( $P<0.05$ ),分别提高了 14.59%、12.27%、14.16% 和 15.19%。0.05% ATC 添加组蛋白高度和哈氏单位显著高于对照组( $P<0.05$ ),分别提高了 18.51% 和 6.63%。饲料 ATC 添加水平对其他蛋品质指标无显著影响( $P>0.05$ )。

### 2.3 ATC 对蛋鸡血清生化指标的影响

由表 4 可知,与对照组相比,饲料添加 0.05%、0.10% 和 0.20% 的 ATC 显著降低了血清 UN 含量( $P<0.05$ )。各组之间血清 ALT、AST、AKP、MPO 活性以及 TP、ALB、TBA 含量均无显著差异( $P>0.05$ )。

表 2 ATC 对蛋鸡生产性能的影响

Table 2 Effects of ATC on performance of laying hens

| 项目<br>Items                             | ATC 添加水平 ATC supplemental levels/% |                          |                          |                          |                         | P 值 P-value   |              |                 |
|---|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|--------------|-----------------|
|   | 0(对照<br>Control)                   | 0.05                     | 0.10                     | 0.15                     | 0.20                    | 方差分析<br>ANOVA | 线性<br>Linear | 二次<br>Quadratic |
| 产蛋率 Laying rate/%                       | 82.72±2.36                         | 82.35±4.25               | 80.81±3.56               | 83.56±1.90               | 83.93±2.07              | 0.422         | 0.272        | 0.233           |
| 平均日采食量<br>ADFI/g                        | 102.00±1.37                        | 102.14±1.47              | 101.34±1.88              | 102.87±2.79              | 103.20±1.50             | 0.463         | 0.207        | 0.355           |
| 平均日产蛋重<br>Average daily<br>egg weight/g | 64.03±0.79 <sup>c</sup>            | 65.04±1.36 <sup>bc</sup> | 65.90±1.58 <sup>ab</sup> | 65.78±0.71 <sup>ab</sup> | 66.57±0.67 <sup>a</sup> | 0.005         | <0.001       | 0.396           |
| 破损率<br>Spoiled rate/%                   | 0.30±0.18                          | 0.25±0.08                | 0.17±0.06                | 0.18±0.09                | 0.14±0.06               | 0.068         | 0.019        | 0.271           |
| 料蛋比 FER                                 | 1.92±0.09 <sup>a</sup>             | 1.90±0.05 <sup>a</sup>   | 1.86±0.05 <sup>ab</sup>  | 1.81±0.05 <sup>b</sup>   | 1.85±0.04 <sup>b</sup>  | 0.029         | 0.005        | 0.238           |
| 死淘率<br>Mortality rate/%                 | 1.04±1.61                          | 2.08±1.61                | 1.56±2.61                | 2.08±2.55                | 0.00±0.00               | 0.324         | 0.410        | 0.098           |

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ( $P>0.05$ ), 不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below.

表 3 ATC 对蛋鸡蛋品质的影响

Table 3 Effects of ATC on egg quality of laying hens

| 项目<br>Items                                      | ATC 添加水平 ATC supplemental levels/% |                         |                          |                         |                         | P 值<br>P-value |
|--|------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
|  | 0(对照<br>Control)                   | 0.05                    | 0.10                     | 0.15                    | 0.20                    |                |
| 平均蛋重 Average egg weight/g                        | 60.65±3.65 <sup>b</sup>            | 69.50±2.25 <sup>a</sup> | 68.09±4.15 <sup>a</sup>  | 69.24±2.18 <sup>a</sup> | 69.86±1.52 <sup>a</sup> | <0.001         |
| 蛋壳厚度<br>Egg shell thickness/mm                   | 0.47±0.02                          | 0.46±0.03               | 0.49±0.03                | 0.46±0.03               | 0.47±0.01               | 0.291          |
| 蛋壳强度<br>Egg shell hardness/(kg/cm <sup>2</sup> ) | 3.66±0.34                          | 3.89±0.44               | 4.16±0.51                | 3.84±0.64               | 3.75±0.47               | 0.488          |
| 蛋黄颜色 Yolk color                                  | 6.01±0.26                          | 6.20±0.18               | 5.97±0.15                | 5.81±0.34               | 5.87±0.21               | 0.075          |
| 蛋白高度 Albumen height/mm                           | 5.51±0.40 <sup>b</sup>             | 6.53±0.61 <sup>a</sup>  | 6.01±0.36 <sup>ab</sup>  | 6.06±0.92 <sup>ab</sup> | 5.65±0.46 <sup>b</sup>  | 0.048          |
| 哈氏单位 Haugh unit                                  | 72.24±3.25 <sup>b</sup>            | 77.03±4.36 <sup>a</sup> | 73.07±2.09 <sup>ab</sup> | 69.31±3.59 <sup>b</sup> | 68.61±4.60 <sup>b</sup> | 0.004          |

表 4 ATC 对蛋鸡血清生化指标的影响

Table 4 Effects of ATC on serum biochemical indices of laying hens

| 项目<br>Items       | ATC 添加水平 ATC supplemental levels/% |                        |                        |                         |                        | P 值<br>P-value |
|-------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|
|                   | 0(对照<br>Control)                   | 0.05                   | 0.10                   | 0.15                    | 0.20                   |                |
| 谷丙转氨酶 ALT/(U/L)   | 13.70±8.74                         | 7.86±1.80              | 12.71±10.34            | 5.61±0.76               | 10.19±4.95             | 0.207          |
| 谷草转氨酶 AST/(U/L)   | 60.79±30.00                        | 34.83±14.55            | 51.03±14.45            | 57.45±27.96             | 32.65±31.33            | 0.108          |
| 总蛋白 TP/(g/L)      | 25.11±11.93                        | 21.41±6.69             | 17.62±6.56             | 29.25±11.28             | 16.95±4.54             | 0.107          |
| 白蛋白 ALB/(g/L)     | 14.46±14.21                        | 23.72±10.70            | 26.86±16.60            | 33.51±3.92              | 23.79±8.26             | 0.361          |
| 碱性磷酸酶 AKP/(U/L)   | 81.43±33.72                        | 56.22±26.76            | 52.29±15.47            | 47.81±26.36             | 43.22±8.11             | 0.129          |
| 髓过氧化物酶 MPO/(U/L)  | 0.10±0.07                          | 0.09±0.03              | 0.11±0.07              | 0.15±0.14               | 0.05±0.04              | 0.361          |
| 总胆汁酸 TBA/(μmol/L) | 34.55±20.49                        | 21.14±11.19            | 18.38±13.12            | 32.20±27.74             | 7.28±2.85              | 0.104          |
| 尿素氮 UN/(mmol/L)   | 4.57±1.39 <sup>a</sup>             | 2.99±0.98 <sup>b</sup> | 2.66±0.54 <sup>b</sup> | 3.66±0.76 <sup>ab</sup> | 2.51±0.79 <sup>b</sup> | 0.005          |

## 2.4 ATC 对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

由表 5 可知,与对照组相比,饲料添加 0.15% ATC 显著提高了血清 GSH-Px 活性 ( $P < 0.05$ ),提高了 172.24%; 0.05%、0.10% 和 0.20% ATC 添加组血清 MDA 含量显著降低 ( $P < 0.05$ ),分别降低

了 54.61%、10.44% 和 76.46%;各 ATC 添加组血清 CAT 活性均显著提高 ( $P < 0.05$ ),分别提高了 30.08%、30.56%、36.96% 和 41.28%。各组之间血清 T-AOC 和 T-SOD 活性均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 5 ATC 对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of ATC on serum antioxidant indices of laying hens

| 项目<br>Items                | ATC 添加水平 ATC supplemental levels/% |                          |                           |                           |                           | P 值<br>P-value |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
|                            | 0(对照<br>Control)                   | 0.05                     | 0.10                      | 0.15                      | 0.20                      |                |
| 总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)        | 3.21±0.82                          | 4.38±1.45                | 3.76±1.51                 | 3.29±0.88                 | 3.75±1.46                 | 0.586          |
| 总超氧化物歧化酶<br>T-SOD/(U/mL)   | 461.23±31.17                       | 484.60±30.54             | 467.29±58.63              | 486.68±13.17              | 482.04±17.45              | 0.741          |
| 谷胱甘肽过氧化物酶<br>GSH-Px/(U/mL) | 41.25±18.71 <sup>b</sup>           | 44.46±22.54 <sup>b</sup> | 67.46±43.31 <sup>ab</sup> | 112.30±46.13 <sup>a</sup> | 82.30±59.30 <sup>ab</sup> | 0.044          |
| 过氧化氢酶 CAT/(U/mL)           | 6.25±1.31 <sup>b</sup>             | 8.13±1.28 <sup>a</sup>   | 8.16±1.36 <sup>a</sup>    | 8.56±1.68 <sup>a</sup>    | 8.83±2.13 <sup>a</sup>    | 0.043          |
| 丙二醛 MDA/(nmol/mL)          | 4.12±2.26 <sup>a</sup>             | 1.87±1.43 <sup>b</sup>   | 3.69±2.71 <sup>b</sup>    | 3.77±2.29 <sup>ab</sup>   | 0.97±0.67 <sup>b</sup>    | 0.049          |

## 2.5 ATC 对蛋鸡血清免疫指标的影响

由表 6 可知,与对照组相比,饲料添加 0.20% 的 ATC 显著提高了血清 IgG 含量 ( $P < 0.05$ ); 饲料添加 0.15% 和 0.20% 的 ATC 显著提高了血清 IgM

含量 ( $P < 0.05$ ),且显著高于 0.10% ATC 添加组 ( $P < 0.05$ ); 饲料添加不同水平的 ATC 对血清 IgA 含量无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

表 6 ATC 对蛋鸡血清免疫指标的影响

Table 6 Effects of ATC on serum immune indices of laying hens

| 项目<br>Items | ATC 添加水平 ATC supplemental levels/% |                        |                         |                         |                        | P 值<br>P-value |
|-------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|
|             | 0(对照<br>Control)                   | 0.05                   | 0.10                    | 0.15                    | 0.20                   |                |
| 免疫球蛋白 A IgA | 2.57±0.47                          | 3.49±1.87              | 3.22±1.50               | 4.07±1.52               | 3.52±0.94              | 0.527          |
| 免疫球蛋白 G IgG | 0.02±0.00 <sup>b</sup>             | 0.02±0.01 <sup>b</sup> | 0.03±0.02 <sup>b</sup>  | 0.03±0.01 <sup>b</sup>  | 0.06±0.03 <sup>a</sup> | 0.020          |
| 免疫球蛋白 M IgM | 1.45±0.43 <sup>c</sup>             | 1.44±0.37 <sup>c</sup> | 1.78±0.64 <sup>bc</sup> | 2.42±0.90 <sup>ab</sup> | 2.88±0.69 <sup>a</sup> | 0.010          |

## 2.6 ATC 对蛋鸡小肠形态结构的影响

由表 7 可知,在十二指肠中,与对照组相比,饲料添加不同水平的 ATC 对绒毛高度、隐窝深度和绒隐比无显著影响 ( $P > 0.05$ )。在空肠中,与对照组相比,饲料添加 0.20% ATC 显著提高绒毛高度 ( $P < 0.05$ );各 ATC 添加组隐窝深度均显著降低 ( $P < 0.05$ ),绒隐比均显著提高 ( $P < 0.05$ );在回肠中,与对照组相比,各 ATC 添加组绒毛高度均显著提高 ( $P < 0.05$ ),隐窝深度均显著降低 ( $P < 0.05$ ),绒隐比均显著提高 ( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 ATC 对蛋鸡生产性能的影响

前人已有研究表明,虫草菌丝体及其发酵产物作为饲料添加剂具有与抗生素相同的促生长作用。栗元文等<sup>[9]</sup>在爱拔益加(AA)白羽肉仔鸡饲料中添加不同水平的 ATC,发现 0.10% 和 0.20% 的 ATC 均能提高肉仔鸡的平均日增重和平均日采食量,降低料重比,且 0.20% 添加组效果更好,这和邵紫培等<sup>[10]</sup>、魏建忠等<sup>[11]</sup>的研究结果一致;朱艳芝等<sup>[12]</sup>报道,饲料添加 0.02% 虫草多糖能够

显著提高蛋鸡的产蛋率,提高平均日产蛋重,降低料蛋比;Chen 等<sup>[13]</sup>发现在基础饲料中添加 7 g/kg 的 ATC 能显著降低霍尔多巴吉鹅的料重比。本试验结果显示,饲料添加 0.10%、0.15% 和 0.20% 的 ATC 显著提高了伊莎褐蛋鸡平均日产蛋重,饲料添加 0.15% 和 0.20% 的 ATC 显著降低了料蛋比。由此可知,饲料添加 0.10%~0.20% 的 ATC 有利于改善蛋鸡的生产性能,这与前人结果一致。

这是因为虫草添加剂中富含多种生物活性物质和营养物质,能够增强机体的消化吸收功能<sup>[14]</sup>,促进新陈代谢,从而提高动物的饲料转化率和降低死亡率,促进动物生产性能的提高,从而提高经济效益。猜测机体免疫功能和抗氧化能力增强是引起生产性能升高的原因之一,具体机理还有待进一步深入研究。

表 7 ATC 对蛋鸡小肠形态结构的影响

Table 7 Effects of ATC on small intestine morphological structure of laying hens

| 项目<br>Items            | ATC 添加水平 ATC supplemental levels/% |                                    |                                    |                                    |                                    | P 值<br>P-value |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|
|                        | 0(对照<br>Control)                   | 0.05                               | 0.10                               | 0.15                               | 0.20                               |                |
| 十二指肠 Duodenum          |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                |
| 绒毛高度 VH/ $\mu\text{m}$ | 1 791.96 $\pm$ 322.03              | 1 756.62 $\pm$ 370.00              | 1 730.99 $\pm$ 145.21              | 1 696.67 $\pm$ 137.90              | 1 941.88 $\pm$ 148.67              | 0.481          |
| 隐窝深度 CD/ $\mu\text{m}$ | 96.05 $\pm$ 33.42                  | 110.79 $\pm$ 16.18                 | 117.15 $\pm$ 11.75                 | 85.91 $\pm$ 7.52                   | 100.99 $\pm$ 14.47                 | 0.066          |
| 绒隐比 V/C                | 20.70 $\pm$ 7.20                   | 15.90 $\pm$ 2.64                   | 14.88 $\pm$ 1.30                   | 19.99 $\pm$ 2.99                   | 20.34 $\pm$ 4.46                   | 0.065          |
| 空肠 Jejunum             |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                |
| 绒毛高度 VH/ $\mu\text{m}$ | 1 523.86 $\pm$ 280.12 <sup>b</sup> | 1 578.17 $\pm$ 216.26 <sup>b</sup> | 1 510.71 $\pm$ 266.81 <sup>b</sup> | 1 530.41 $\pm$ 328.87 <sup>b</sup> | 1 871.10 $\pm$ 219.48 <sup>a</sup> | 0.034          |
| 隐窝深度 CD/ $\mu\text{m}$ | 150.00 $\pm$ 25.72 <sup>a</sup>    | 110.10 $\pm$ 27.85 <sup>b</sup>    | 100.63 $\pm$ 29.77 <sup>b</sup>    | 97.37 $\pm$ 25.91 <sup>b</sup>     | 93.86 $\pm$ 14.87 <sup>b</sup>     | 0.002          |
| 绒隐比 V/C                | 10.23 $\pm$ 1.50 <sup>c</sup>      | 14.99 $\pm$ 3.55 <sup>b</sup>      | 15.87 $\pm$ 4.09 <sup>b</sup>      | 17.01 $\pm$ 6.16 <sup>ab</sup>     | 19.69 $\pm$ 3.12 <sup>a</sup>      | <0.001         |
| 回肠 Ileum               |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                |
| 绒毛高度 VH/ $\mu\text{m}$ | 1 060.78 $\pm$ 233.42 <sup>b</sup> | 1 292.57 $\pm$ 167.08 <sup>a</sup> | 1 434.24 $\pm$ 386.82 <sup>a</sup> | 1 385.48 $\pm$ 155.03 <sup>a</sup> | 1 539.21 $\pm$ 157.02 <sup>a</sup> | 0.004          |
| 隐窝深度 CD/ $\mu\text{m}$ | 213.79 $\pm$ 57.05 <sup>a</sup>    | 155.26 $\pm$ 42.38 <sup>b</sup>    | 102.93 $\pm$ 16.20 <sup>c</sup>    | 104.18 $\pm$ 39.26 <sup>c</sup>    | 104.28 $\pm$ 38.12 <sup>c</sup>    | <0.001         |
| 绒隐比 V/C                | 5.45 $\pm$ 2.41 <sup>c</sup>       | 8.95 $\pm$ 2.85 <sup>b</sup>       | 13.99 $\pm$ 3.10 <sup>a</sup>      | 14.86 $\pm$ 4.72 <sup>a</sup>      | 14.96 $\pm$ 5.02 <sup>a</sup>      | 0.043          |

### 3.2 ATC 对蛋鸡蛋品质的影响

评价蛋品质的指标有很多,其中外在品质包括哈氏单位、蛋壳颜色、蛋壳厚度、蛋壳强度及蛋黄颜色等,内在品质包括粗蛋白质、粗脂肪、微量元素和必需氨基酸含量等<sup>[15]</sup>。孙汉巨等<sup>[16]</sup>将虫草添加到蛋鸭饲料中,与对照组相比,添加虫草类添加剂能显著提高鸭蛋蛋重以及蛋白质、卵黄中免疫球蛋白 Y(IgY)和卵磷脂含量,并降低胆固醇含量。Wang 等<sup>[17]</sup>也发现蛹虫草废液能显著降低鸡蛋胆固醇含量。本研究结果发现,各 ATC 添加组平均蛋重均显著高于对照组,0.05% ATC 添加组蛋白高度和哈氏单位显著高于对照组,且饲料添加 ATC 对蛋黄颜色、蛋壳厚度和蛋壳强度负面影响,这表明饲料中添加 ATC 有助于改善鸡蛋的蛋品质,这与马新宇<sup>[18]</sup>、顾动地等<sup>[19]</sup>和赵咏中等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。这是由于:一方面,虫草素、虫草酸和虫草多糖能为氨基酸合成提供底物,促进氨基酸在体内合成蛋白质,提高蛋白质沉积

效率,进而增加鸡蛋的蛋白质比例,提高蛋白高度和哈氏单位;另一方面,虫草素、虫草酸和虫草多糖能为蛋黄合成提供底物,使得蛋重增加。另外,虫草添加剂能够增强蛋鸡的抗病能力和抗氧化功能,有利于增强动物机体的生理机能,进而促进营养素在鸡蛋中沉积,从而改善蛋品质。

### 3.3 ATC 对蛋鸡血清生化指标的影响

血液是体内环境的重要组成部分,可为动物生长发育和疾病诊断提供参考。因此,血清生化指标可以部分反映机体的代谢和健康状况<sup>[21]</sup>。目前,关于 ATC 对动物血清生化指标的影响已有一些报道。本研究发现,饲料添加 0.05%、0.10% 和 0.20% 的 ATC 显著降低了血清 UN 含量,而血清 UN 在一定程度上反映了蛋白质在体内的代谢状态,提示饲料中添加 ATC 能提高蛋白质利用率。但饲料添加 ATC 对其他血清生化指标没有显著影响。此前王笑言等<sup>[22]</sup>研究发现,山羊饲料添加 0.10% 和 0.20% 的 ATC 能显著提高血清 TP 含量,

饲料添加 0.05%、0.10% 和 0.20% 的 ATC 能显著提高血清 AKP 活性; 雒诚龙等<sup>[23]</sup>研究表明, 饲料添加 ATC 能显著提高奶牛血清 TP 和 ALB 含量, 这与本试验结果不一致, 可能是由于使用的物种和养殖环境差异造成的。

### 3.4 ATC 对蛋鸡抗氧化能力的影响

虫草的抗氧化活性主要来源于糖类和核苷类物质, 虫草素和虫草多糖也经常在小鼠模型上用来研究其对动物的抗氧化作用, 其在医疗和保健品上具有重要的研究价值<sup>[24-25]</sup>。此外, 虫草酸是一种公认的强效自由基清除剂, 可以和羟自由基发生作用产生低毒性的甘露醇自由基, 再通过歧化来实现快速清除自由基, 因此能够保护神经功能免受或减轻损害<sup>[26]</sup>; 且可以抑制氧自由基的生成, 能够将心肌细胞及肌肉、脑组织缺氧产生的自由基清除, 降低血管内阻力, 改善血液微循环<sup>[27]</sup>。冯柳柳等<sup>[28]</sup>在 AA 肉鸡饲料中添加 0.50 kg/t 的 ATC, 发现其显著提高了肉鸡的生长性能, 增强了肝脏和肾脏等免疫器官的发育, 提高了机体免疫能力, 促进了血清中 T-SOD 的产生, 减少了 MDA 的产生, 从而有助于维持 AA 肉鸡健康; Kong 等<sup>[29]</sup>研究发现, 奶牛饲料中添加 ATC 能显著提高血清 CAT、T-SOD 和 GSH-Px 活性。本研究中, 与对照组相比, 0.15% ATC 添加组血清 GSH-Px 活性显著提高, 0.05%、0.10% 和 0.20% ATC 添加组血清 MDA 含量显著降低, 各 ATC 添加组血清 CAT 活性均显著提高, 提示 ATC 中的活性物质能够清除动物血液中因氧化损伤产生的自由基, 从而提高机体的抗氧化能力。

### 3.5 ATC 对蛋鸡免疫功能的影响

体液免疫是以浆细胞产生免疫球蛋白, 即抗体来介导的免疫机制, 家禽体液免疫中主要由 IgA、IgG 和 IgM 发挥作用。IgG 是血清中免疫球蛋白的主要成分, 具有抗菌、抗毒素、抗病毒及固定补体等功能<sup>[30]</sup>; IgM 是机体首先产生的免疫球蛋白, 以包被抗原和固定补体形式发挥免疫作用, 与原发免疫反应有关, 可用于诊断急性病原体或免疫原暴露<sup>[31]</sup>。本试验结果显示, 饲料添加 0.20% 的 ATC 显著提高了血清 IgG 含量, 饲料添加 0.15% 和 0.20% 的 ATC 显著提高了血清 IgM 含量, 这表明 ATC 能通过刺激免疫球蛋白的形成, 从而增强体液免疫。

### 3.6 ATC 对蛋鸡小肠形态结构的影响

众所周知, 小肠是食物消化吸收的主要场所, 这一功能的实现严格依赖小肠结构的完整性。小肠由含有肠道干细胞的隐窝和含有分化的特殊类型细胞的绒毛组成<sup>[32]</sup>, 隐窝和绒毛的组织结构与快速更新的细胞相结合, 使肠道既发挥屏障功能, 又可以充当营养物质吸收的主要场所。小肠绒毛是位于小肠的上皮和固有层向肠腔隆起的指状突起, 它伸向肠腔增大了营养物质的吸收表面积, 从而影响肠道的消化吸收功能。隐窝是由小肠上皮降至绒毛根部固有层形成的管状腺, 它底部含有丰富的干细胞, 这些干细胞不断分化, 补充到肠上皮中, 维持肠道上皮功能<sup>[33]</sup>。隐窝越浅表明肠上皮细胞越成熟, 分泌功能越强, 肠道的消化吸收能力越强<sup>[34]</sup>。小肠的组织形态一般通过对其绒毛和隐窝的组织学测定来进行评定, 绒毛高度、隐窝深度、绒隐比直接反映了肠道的消化、分泌和吸收功能。在本研究中, 饲料添加 ATC 显著提高了蛋鸡空肠和回肠的绒毛高度和绒隐比, 显著降低了隐窝深度, 表明 ATC 可改善小肠形态结构。饲料添加 ATC 后小肠绒毛变长, 会增加肠上皮用于营养吸收的可用表面积; 隐窝变浅则表明组织内细胞更新加快, 这会进一步造成肠绒毛高度与隐窝深度的比值(绒隐比)升高, 从而导致机体对营养物质吸收能力以及对病原体感染的抵抗力增强。

## 4 结 论

本试验条件下, 饲料添加 ATC 可增强蛋鸡的免疫功能和抗氧化能力, 改善空肠和回肠形态结构, 进而改善蛋品质, 降低料蛋比, 且以添加 0.20% 的 ATC 效果较佳。

### 参考文献:

- [1] GADDE U, KIM W H, OH S T, et al. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review[J]. *Animal Health Research Reviews*, 2017, 18(1): 26-45.
- [2] OLATUNJI O J, TANG J, TOLA A, et al. The genus *Cordyceps*: an extensive review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology [J]. *Fitoterapia*, 2018, 129: 293-316.
- [3] DAS G, SHIN H S, LEYVA-GÓMEZ G, et al. *Cordyceps* spp.: a review on its immune-stimulatory and other biological potentials [J]. *Frontiers in Phar-*

- macology, 2020, 11: 602364.
- [ 4 ] LI Y, SUN Y K, LI X, et al. Effects of *Acremonium terricola* culture on performance, milk composition, rumen fermentation and immune functions in dairy cows [ J ]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 240: 40-51.
- [ 5 ] LI Y, WANG Y Z, DING X, et al. Effects of *Acremonium terricola* culture on growth performance, antioxidant status and immune functions in weaned calves [ J ]. *Livestock Science*, 2016, 193: 66-70.
- [ 6 ] 张建伟, 宫晓玮, 王梁, 等. 日粮添加地顶孢霉培养物对北京油鸡屠宰性能、肌肉氨基酸和脂肪酸含量的影响 [ J ]. *中国家禽*, 2019, 41(22): 32-36.  
ZHANG J W, GONG X W, WANG L, et al. Effects of dietary *Acremonium terricola* culture on slaughter performance, muscular amino acid and fatty acid content of *Beijing You* chicken [ J ]. *China Poultry*, 2019, 41(22): 32-36. (in Chinese)
- [ 7 ] 张丽佳, 王贤玉, 陈贵才, 等. 地顶孢霉培养物对小鼠免疫功能的影响 [ J ]. *饲料研究*, 2021, 44(17): 75-79.  
ZHANG L J, WANG X Y, CHEN G C, et al. Effect of culture of *Acremonium terricola* on immune function on rats [ J ]. *Feed Research*, 2021, 44(17): 75-79. (in Chinese)
- [ 8 ] LI Y, JIANG X, XU H J, et al. *Acremonium terricola* culture plays anti-inflammatory and antioxidant roles by modulating MAPK signaling pathways in rats with lipopolysaccharide-induced mastitis [ J ]. *Food & Nutrition Research*, 2020, 64: 3649.
- [ 9 ] 粟元文, 吕远蓉, 王怀禹, 等. 地顶孢霉培养物对肉仔鸡生长性能和免疫功能的影响 [ J ]. *黑龙江畜牧兽医*, 2019(4): 112-114.  
SU Y W, LYU Y R, WANG H Y, et al. Effect of *Acremonium terricola* culture on growth performance and immune function in broilers [ J ]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2019(4): 112-114. (in Chinese)
- [ 10 ] 邵紫培, 尹艳军, 袁洪水. 冬虫夏草菌粉对肉鸡生长性能和免疫功能的影响 [ J ]. *饲料工业*, 2016, 37(4): 10-14.  
SHAO Z P, YIN Y J, YUAN H S. Effects of *Cordyceps* powder on growth performance and immune function of broilers [ J ]. *Feed Industry*, 2016, 37(4): 10-14. (in Chinese)
- [ 11 ] 魏建忠, 褚照龙, 陈安徽, 等. 虫草饲料添加剂对土杂肉鸡增重效果研究 [ J ]. *中国畜牧兽医*, 2005, 32(10): 8-9.  
WEI J Z, CHU Z L, CHEN A H, et al. Effect of cordyceps feed additive on weight gain of native crossbred broilers [ J ]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2005, 32(10): 8-9. (in Chinese)
- [ 12 ] 朱艳芝, 马文锋, 张耀文, 等. 虫草多糖对蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质和肠道形态结构的影响 [ J ]. *动物营养学报*, 2019, 31(5): 2323-2329.  
ZHU Y Z, MA W F, ZHANG Y W, et al. Effects of *Cordyceps* polysaccharide on performance, egg quality and intestinal morphology of laying hens during later laying period [ J ]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(5): 2323-2329. (in Chinese)
- [ 13 ] CHEN J Y, GUO Y W, LU Y, et al. Effects of *Acremonium terricola* culture on the growth, slaughter yield, immune organ, serum biochemical indexes, and antioxidant indexes of geese [ J ]. *Animals: an Open Access Journal From MDPI*, 2022, 12(9): 1164.
- [ 14 ] 程贵兰. 地顶孢霉培养物对麒麟鸡生长性能、肠道菌群和肌肉养分的影响 [ D ]. 硕士学位论文. 湛江: 广东海洋大学, 2020.  
CHEN G L. Effects of *Acremonium terricola* culture on growth properties, intestinal microflora and muscle nutrients of Frizzle chickens [ D ]. Master's Thesis. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2020. (in Chinese)
- [ 15 ] VLČKOVÁ J, TŮMOVÁ E, MÍKOVÁ K, et al. Changes in the quality of eggs during storage depending on the housing system and the age of hens [ J ]. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 6187-6193.
- [ 16 ] 孙汉巨, 李晓祥, 丁琦, 等. 虫草饲料添加剂对蛋鸭生产性能及鸭蛋品质的影响 [ J ]. *安徽农业科学*, 2011, 39(6): 3618-3620, 3626.  
SUN H J, LI X X, DING Q, et al. Effects of *Cordyceps* feed additive on production performance and egg quality of laying ducks [ J ]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(6): 3618-3620, 3626. (in Chinese)
- [ 17 ] WANG C L, CHIANG C J, CHAO Y P, et al. Effect of *Cordyceps militaris* waste medium on production performance, egg traits and egg yolk cholesterol of laying hens [ J ]. *The Journal of Poultry Science*, 2015, 52(3): 188-196.
- [ 18 ] 马新宇. 蛹虫草米基饲料研究及在蛋鸡养殖中的应用 [ D ]. 硕士学位论文. 沈阳: 沈阳师范大学, 2019.  
MA X Y. Research on *Cordyceps militaris* rice-based feed and its application in laying hens [ D ]. Master's

- Thesis. Shenyang: Shenyang Normal University, 2019. (in Chinese)
- [19] 顾动地, 邓在双, 任曼, 等. 虫草粉联合酵母硒对蛋鸡产蛋高峰中期产蛋性能、蛋品质、抗氧化性和免疫功能的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2021, 48(7): 2404-2414.  
GU D D, DENG Z S, REN M, et al. Effects of *Cordyceps* powder combined with yeast selenium on laying performance, egg quality, antioxidant and immune function in middle egg-laying peak of laying hen [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2021, 48(7): 2404-2414. (in Chinese)
- [20] 赵咏中, 靳新, 孙有奎, 等. 地顶孢霉培养物对产蛋鸡生产性能和鸡蛋品质及营养成分的影响[J]. 养殖与饲料, 2022, 21(6): 19-25.  
ZHAO Y Z, JIN X, SUN Y K, et al. The performance, egg quality and nutrition composition of adding *Acremonium terricola* culture on laying hens [J]. Animals Breeding and Feed, 2022, 21(6): 19-25. (in Chinese)
- [21] REDA F M, SWELUM A A, HUSSEIN E O S, et al. Effects of varying dietary DL-methionine levels on productive and reproductive performance, egg quality, and blood biochemical parameters of quail breeders [J]. Animals: an Open Access Journal From MDPI, 2020, 10(10): 1839.
- [22] 王笑言, 刘武灵, 孙清平, 等. 饲料地顶孢霉培养物添加水平对山羊生长性能及血清生化、免疫和抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(6): 3847-3856.  
WANG X Y, LIU W L, SUN Q P, et al. Effects of dietary *Acremonium terricola* culture supplemental level on growth performance and serum biochemical, immune and antioxidant indexes of goats [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(6): 3847-3856. (in Chinese)
- [23] 雒诚龙, 李婷婷, 卢娜, 等. 地顶孢霉培养物对泌乳奶牛生产性能及血清指标的影响[J]. 饲料研究, 2021, 44(22): 1-4.  
LUO C L, LI T T, LU N, et al. Effect of *Acremonium terrestris* culture on production performance and serum indexes of lactating dairy cows [J]. Feed Research, 2021, 44(22): 1-4. (in Chinese)
- [24] CHIU C H, CHYAU C C, CHEN C C, et al. Polysaccharide extract of *Cordyceps sobolifera* attenuates renal injury in endotoxemic rats [J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 69: 281-288.
- [25] TIAN X W, LI Y J, SHEN Y Y, et al. Apoptosis and inhibition of proliferation of cancer cells induced by cordycepin [J]. Oncology Letters, 2015, 10(2): 595-599.
- [26] YANG B, LI H, RUAN Q F, et al. Effects of gut microbiota and ingredient-ingredient interaction on the pharmacokinetic properties of rotundic acid and pedunculoside [J]. Planta Medica, 2019, 85(9/10): 729-737.
- [27] 欧阳阳阳, 张哲, 曹忆嵘, 等. 虫草酸和虫草素对肝星状细胞炎症及纤维化发生特性的影响[J]. 中华肝脏病杂志, 2013, 21(4): 275-278.  
OUYANG Y Y, ZHANG Z, CAO Y R, et al. Effects of *Cordyceps* acid and cordycepin on the inflammatory and fibrogenic response of hepatic stellate cells [J]. Chinese Journal of Hepatology, 2013, 21(4): 275-278. (in Chinese)
- [28] 冯柳柳, 单春乔, 赵荣, 等. 地顶孢霉培养物对断奶仔猪生长性能、肠道菌群及体液免疫的影响[J]. 畜牧与兽医, 2019, 51(6): 43-46.  
FENG L L, DAN C Q, ZHAO R, et al. Effects of *Acremonium terricola* culture on growth performance, intestinal flora and humoral immunity in weaned piglets [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2019, 51(6): 43-46. (in Chinese)
- [29] KONG F L, ZHANG Y J, WANG S, et al. *Acremonium terricola* culture's dose-response effects on lactational performance, antioxidant capacity, and ruminal characteristics in Holstein dairy cows [J]. Antioxidants, 2022, 11(1): 175.
- [30] NAPODANO C, MARINO M P, STEFANILE A, et al. Immunological role of IgG subclasses [J]. Immunological Investigations, 2021, 50(4): 427-444.
- [31] MOCKETT A P. Monoclonal antibodies used to isolate IgM from chicken bile and avian sera and to detect specific IgM in chicken sera [J]. Avian Pathology, 1986, 15(3): 337-348.
- [32] ABDELNOUR S A, ABD EL-HACK M E, ALA-GAWANY M, et al. Beneficial impacts of bee pollen in animal production, reproduction and health [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2019, 103(2): 477-484.
- [33] GU Y F, CHEN Y P, JIN R, et al. Dietary chitoooligosaccharide supplementation alleviates intestinal barrier damage, and oxidative and immunological stress in lipopolysaccharide-challenged laying hens [J]. Poultry Science, 2022, 101(4): 101701.
- [34] MARTEL J, CHANG S H, KO Y F, et al. Gut barrier

disruption and chronic disease[J]. Trends in Endocri-

nology & Metabolism, 2022, 33(4):247-265.

## Effects of *Acremonium terricola* Culture on Performance, Egg Quality, Antioxidant Capacity, Immune Function and Intestinal Morphology of Laying Hens

LIU Yating<sup>1</sup> CHEN Guicai<sup>2</sup> ZHANG Lijia<sup>2</sup> JIAN Huafeng<sup>1</sup> LI Yan<sup>1</sup> MOU Tianming<sup>1</sup>  
DONG Xinyang<sup>1</sup> ZOU Xiaoting<sup>1\*</sup>

(1. Key Laboratory of Animal Feed and Nutrition of Zhejiang Province, College of Animal Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Zhejiang Esigma Biothchnology Co., Ltd., Haining 314422, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of *Acremonium terricola* culture (ATC) on performance, egg quality, antioxidant capacity, immune function and intestinal morphology of laying hens. A total of 960 healthy 70-week-old Isa brown layers with similar body weight were randomly assigned into 5 groups with 6 replicates in each group and 32 hens in each replicate. Hens in the control group were fed a basal diet, and those in the experimental groups were fed the basal diet supplemented with 0.05%, 0.10%, 0.15% and 0.20% ATC, respectively. The trial pre-period was 1 week, and the formal period was 9 weeks. The results showed as follows: 1) compared with the control group, dietary 0.10%, 0.15% and 0.20% ATC significantly increased the average daily egg weight ( $P<0.05$ ), and dietary 0.15% and 0.20% ATC significantly decreased the feed to egg ratio ( $P<0.05$ ). 2) Compared with the control group, different dietary levels of ATC significantly increased the average egg weight ( $P<0.05$ ), and dietary 0.05% ATC significantly increased the protein height and Haugh unit ( $P<0.05$ ). 3) Compared with the control group, dietary 0.05%, 0.10% and 0.20% ATC significantly decreased the serum urea nitrogen (UN) content ( $P<0.05$ ). 4) Compared with the control group, dietary 0.15% ATC significantly increased the serum glutathione peroxidase (GSH-Px) activity ( $P<0.05$ ), dietary 0.05%, 0.10% and 0.20% significantly decreased the serum malondialdehyde (MDA) content ( $P<0.05$ ), and the serum catalase (CAT) activity in all ATC supplement groups was significantly increased ( $P<0.05$ ). 5) Compared with the control group, dietary 0.20% ATC significantly increased the serum immunoglobulin G (IgG) content ( $P<0.05$ ), and dietary 0.15% and 0.20% ATC significantly increased the serum immunoglobulin M (IgM) content ( $P<0.05$ ). 6) Compared with the control group, in the jejunum, dietary 0.20% ATC significantly increased the villus height ( $P<0.05$ ); the crypt depth in all ATC supplemental groups was significantly decreased ( $P<0.05$ ), and the ratio of villus height to crypt depth was significantly increased ( $P<0.05$ ). Compared with the control group, in the ileum, the villus height and the ratio of villus height to crypt depth in all ATC supplemental groups were significantly increased ( $P<0.05$ ), and the crypt depth was significantly decreased ( $P<0.05$ ). In conclusion, dietary ATC can enhance the immune function and antioxidant capacity, improve the morphology and structure of jejunum and ileum, improve the egg quality and reduce the ratio of feed to egg of laying hens, and 0.20% ATC supplementation has the best effect. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(4):2286-2295]

**Key words:** *Acremonium terricola* culture; laying hens; performance; antioxidant capacity; immune function; intestinal morphology